

# METHOD AND ARRANGEMENT FOR CONTROLLING THE ENERGY SUPPLY OF A MOBILE DEVICE COMPRISING AT LEAST ONE ELECTRIC DRIVING MOTOR AND A HYBRID ENERGY SYSTEM CONTAINING A FUEL CELL SYSTEM AND A DYNAMIC ENERGY SYSTEM

Publication number: WO2004014687

Publication date: 2004-02-19

Inventor: BUCK MICHAEL (DE); SCHUETZ JOERG (DE)

Applicant: DAIMLER CHRYSLER AG (DE); BUCK MICHAEL (DE); SCHUETZ JOERG (DE)

Classification:

- international: H01M8/00; B60L11/18; H01M8/04; H01M16/00; H01M8/00; B60L11/18; H01M8/04; H01M16/00; (IPC1-7): B60L11/18; H01M8/00

- european: B60L11/18R4; H01M8/04H

Application number: WO2003EP07030 20030702

Priority number(s): DE20021033821 20020725

Also published as:



US2006102397 (A1)

EP1525113 (A0)

DE10233821 (A1)

Cited documents:



WO0229916

US4839246

WO0134424

WO0236385

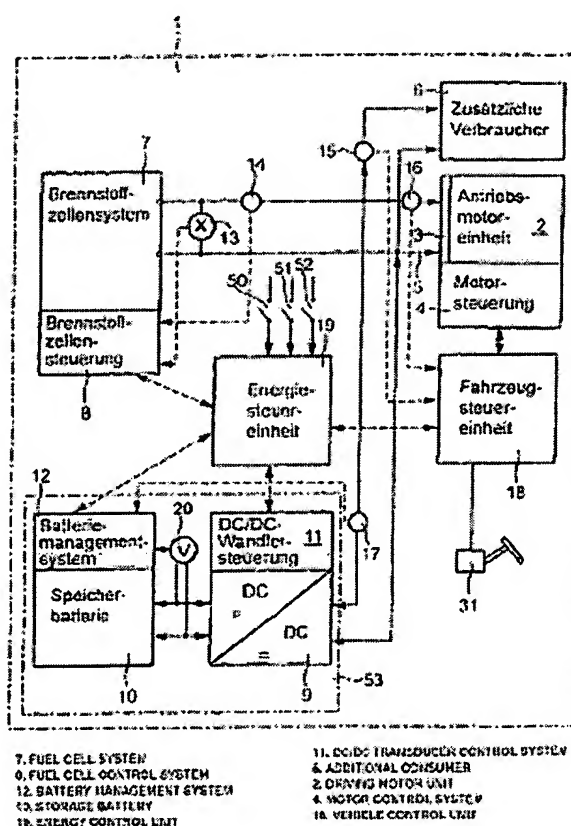
US5334463

more >>

Report a data error here

## Abstract of WO2004014687

The invention relates to a method and an arrangement for controlling the energy supply of a vehicle comprising a hybrid energy system consisting of a fuel cell system (7) and a dynamic energy system (53) containing a storage battery (10). Said energy system can be operated according to adaptable modes of operation with optimum dynamics.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide





## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Steuerung der Energieversorgung einer wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor aufweisenden, mobilen Vorrichtung mit einem hybriden Energieversorgungssystem, das ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem aufweist, wobei die elektrischen Ausgänge des Brennstoffzellensystems mit einer Seite eines Stromrichters verbunden sind, dessen andere Seite den Antriebsmotor speist, der von einer Motorsteuereinheit gesteuert wird, und wobei das dynamische Energiesystem eine Speicherbatterie aufweist, die mit einer Seite eines Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers verbunden ist, dessen andere Seite mit den elektrischen Ausgängen des Brennstoffzellensystems und der einen Seite des Stromrichters verbunden ist.

## Stand der Technik

[0002] Es ist ein Energieversorgungssystem in einem elektrischen Fahrzeug bekannt, das eine Brennstoffzelle und eine zu dieser parallel schaltbare Speicherbatterie aufweist. Die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle sind mit einem Motor zum Antrieb des Fahrzeugs und einem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler verbunden, an den Hilfsmaschinen im Fahrzeug angeschlossen sind.

[0003] Das Energieversorgungssystem enthält eine Restladungsüberwachungseinrichtung zur Messung der Restladung der Speicherbatterie. Die Restladungsüberwachungseinrichtung erfaßt die Restladung der Speicherbatterie zum Zeitpunkt des Stoppvorgangs des Energieversorgungssystems. Wenn die Restladung unter einem vorgebbaren Grenzwert ist, lädt die Brennstoffzelle die Speicherbatterie bis zum Grenzwert auf. Dann erst wird das Energieversorgungssystem gestoppt (DE 197 31 250 A1).

[0004] Bekannt ist ein Hybrid-Antriebskonzept für Brennstoffzellen-Fahrzeuge, die als Energiequelle eine Brennstoffzelle aufweisen, die einen Elektro-Fahrmotor speist. Das jeweilige Fahrzeug enthält einen Energiespeicher und elektrische Nebenverbraucher. Es sind im Fahrzeug zwei separate, mit Schaltvorrichtungen versehene Stromkreise zur wahlweisen Verbindung des Elektrofahrmotors und der Nebenverbraucher mit der Brennstoffzelle oder dem Energiespeicher und eine schaltbare Verbindung zwischen der Brennstoffzelle und dem Energiespeicher vorhanden (DE 198 10 467 C1).

[0005] Bekannt ist auch ein Brennstoffzellensystem mit einem Brennstofftank, einem Reformer, einer Brennstoffzelle, einem an die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle angeschlossenen Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler und einer mit dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler verbundenen Last, zu der eine Speicherbatterie parallel geschaltet ist. Das Brennstoffzellensystem enthält eine Steuereinheit, mit der die Restladung der Speicherbatterie

erfaßt wird. Die Steuereinheit sorgt dafür, daß die Speicherbatterie in der kürzest möglichen Zeit auf einen vorgebbaren Ladezustand aufgeladen wird (EP 0334 47 474 B1).

[0006] Schließlich ist ein Energieversorgungssystem mit einer Brennstoffzelle, einem an die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle angeschlossenen Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler und einer an die Ausgänge des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers angeschlossenen Last bekannt. Zu der Last ist eine Speicherbatterie parallel geschaltet. Eine Steuereinheit regelt den über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler fließenden Strom derart, daß die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle innerhalb eines vorgegebenen Bereichs verbleibt (US 5714 874).

## Aufgabenstellung

[0007] Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, für die Energieversorgung einer wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor aufweisenden, mobilen Vorrichtung mit einem hybriden Energiesystem aus einem Brennstoffzellensystem und einem dynamischen Energiesystem ein Verfahren und eine Anordnung anzugeben, mit denen unter Anpassung an die Parameter und/oder Betriebszustände das hybride Energiesystem bezüglich der jeweils geforderten Dynamik optimal gesteuert werden kann.

[0008] Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass Signale, die von einem Geber für die Anforderung der Solleistung des Antriebsmotors erzeugt werden, ein Signal, das von einem Betriebsartenwahlschalter mit wählbaren Einstellungen abgegeben wird, die jeweils unterschiedlichen Dynamik-Verhaltensweisen der Vorrichtung zugeordnet sind, Messwerte eines Stromsensors für den Ausgangsstrom und eines Spannungssensors für die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle und Messwerte eines Sensors für die Geschwindigkeit der Vorrichtung zur Bestimmung der vom Brennstoffzellensystem und vom dynamischen Energiesystem aufzubringenden Leistungsanteile an der angeforderten Solleistung derart verarbeitet werden, dass bei einer Solleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vorrichtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise und der unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Solleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird. Aufgrund der Kenntnis des Energiebedarfs der mobilen Vorrichtung, die jeweils von dem Drehmomentsollwert, dem

Einstellorgan und den Meßwerten der Sensoren abhängt, und der aus den Signalen, Stellungsgebern und Meßwerten berechnet wird, kann die Energieanforderung des Brennstoffzellensystems in geeigneter Weise, d. h. mit günstigem Wirkungsgrad und/oder günstigem Zeitverhalten angepaßt werden, während die Speicherbatterie den Energiebeitrag für eine schnelle Dynamik der mobilen Vorrichtung liefert.

[0009] Bei einer sprungförmigen Zu- oder Abnahme der Solleistung wird die für die Zu- oder Abnahme der zusätzlichen Leistung erforderliche Zu- oder Abnahme des aus oder in die Speicherbatterie über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler fließenden Stroms insbesondere auf einen maximal vorgebbaren Entlade- oder einen maximal vorgebbaren Aufladestrom begrenzt. Der maximale Entladebzw. Rufladestrom ergibt sich z. B. aus dem Typ der verwendeten Speicherbatterie.

[0010] Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden von einer Fahrzeugsteuereinheit der mobilen Vorrichtung aus der Solleistung bestimmte Stromanforderungswerte für den Antriebsmotor Verbraucherstromwerten der weiteren Verbraucher in der Vorrichtung überlagert und mit einem von einem Batteriemanagementsystem bedarfsweise erzeugten Ladestromwert unter Begrenzung auf einen vorgebbaren Brennstoffzellenstrommaximalwert einer Energiesteuereinheit zugeführt, der weiterhin Vorrichtungsgeschwindigkeitswerte, Drehmomentsollwerte von einem Einstellorgan, Batterieladezustandswerte und die Einstellung des Betriebsartenwahlschalters der mobilen Vorrichtung zugeführt werden und die in Abhängigkeit von den zugeführten Werten die Werte des Gesamtstrombedarfs und des vom Brennstoffzellensystem unter Berücksichtigung dessen Trägheitsverhaltens und des ausgewählten Dynamik-Verhaltens beizutragenden Strombedarfs berechnet und entsprechende Sollwerte an die Stellglieder des Brennstoffzellensystems ausgibt, und wobei jeweils die Werte des von der Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms bestimmt, vom Wert des vom Antriebsmotor benötigten Stroms subtrahiert werden und unter Begrenzung auf einen maximal angebbaren Entlade- oder Ladestrom der Speicherbatterie als Stromsollwerte dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler zugeführt werden. Die Energiesteuereinheit erkennt an Hand der ihr zugeführten Werte die Betriebsart und den Betriebszustand der mobilen Vorrichtung und folgert daraus die Art des Strombeitrags, den das Brennstoffzellensystem für den Stromrichter und die Hilfsantrieb leisten muß, wobei die Speicherbatterie die Strombeiträge für die schnellen Dynamikanforderungen leistet. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine sehr schnelle Einstellung des vom Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler, im folgenden auch DC/DC-Wandler genannt, zur Erzielung einer guten Fahrdynamik aufzubringenden Stroms.

[0011] Bei einer weiteren günstigen Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Summe des jeweils vom

Antriebsmotor über den Stromrichter bezogenen Werts des Stroms und der von den weiteren Verbrauchern der Vorrichtung bezogenen Werte der Ströme vom Wert des von der Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms subtrahiert wird und bei Erreichen eines maximal vorgegebenen Werts des Entladestroms auf diesen Entladestrom begrenzt wird und daß das Ergebnis der Differenz der von den weiteren Verbrauchern bezogenen Werte der Ströme vom Wert des verfügbaren Brennstoffzellenstroms aufgeschaltet wird und der Steuereinheit der Vorrichtung als verfügbarer Wert des Stroms gemeldet wird. Der verfügbare Strom ist ein dynamischer Strom als Antwort auf die Anforderung eines Stroms. Das Brennstoffzellensystem dosiert soviel Kraftstoff, dass dieser Strom gezogen wird. Die Steuereinheit ist daher in der Lage, die Stromanforderungen an die mobile Vorrichtung jeweils auf die verfügbaren Werte des Stroms abzustimmen.

[0012] Besonders vorteilhaft ist es, mit einem Speicherglied n-ter Ordnung die Übergangsfunktion des Brennstoffzellensystems als Regelstrecke nachzubilden, das Speicherglied und eine Steuereinheit für das dynamische Energiesystem mit dem von der Fahrzeugsteuereinheit der mobilen Vorrichtung ausgegebenen Drehmomentsollwert zu beaufschlagen und der Steuereinheit zusätzlich die gemäß der Übergangsfunktion der Regelstrecke erzeugten Werte zuzuführen, und durch die Steuereinheit den vom dynamischen Energiesystem aufzubringenden Strom über ein Begrenzungsglied mit einer Rampe, deren Steigung in Abhängigkeit von Steuersignalen aus der Vorrichtung auf wenigstens zwei Werte einstellbar ist, als Sollstromwert dem DC/DC-Wandler zuzuführen. Bei dieser Ausführungsform wird eine besonders gute Gesamtdynamik erreicht. Die Leistungsfähigkeit des dynamischen Energiesystems wird dabei optimal ausgeschöpft. Beispielsweise wird beim schnellen Start der mobilen Vorrichtung, d. h. bei Startbeginn und geringer Leistung des Brennstoffzellensystems, die Leistung vom dynamischen Energiesystem aufgebracht, so daß das für die Beschleunigung der Vorrichtung notwendige große Drehmoment schnell verfügbar ist. Bei hohen Drehzahlen wird vom dynamischen Energiesystem die Leistung für die Beschleunigung zur Erreichung einer höheren Drehzahl ausgegeben. Mittels der Energiesteuereinheit wird ein gleitender Übergang der Leistungsbeiträge von Brennstoffzelle und Energiesystem erreicht.

[0013] Zur Erzielung einer hohen Beschleunigung ist es zweckmäßig, während der Dauer eines Beschleunigungsvorgangs der Vorrichtung, bei dem von der Steuereinheit durch Vorsteuerung ein Solldrehmoment und aus einem Kennfeld mit dem Drehmoment als Funktion des maximalen Stroms und der Drehzahl ein Maximalstrom für die Erzeugung des Solldrehmoments bestimmt wird, die Differenz zwischen dem vom Brennstoffzellensystem während des Beschleunigungsvorgangs erzeugten Strom und dem für die Erzielung der hohen Beschleunigung ge-

mäß dem Kennfeld benötigten Strom durch das dynamische Energiesystem zu erzeugen. Mit dieser Ausführungsform wird bei einer mobilen Vorrichtung, insbesondere einem Elektrofahrzeug, eine besonders gute Längsdynamik erzeugt, da das dynamische Energiesystem optimal ausgenutzt wird.

[0014] Um die Energie der mobilen Vorrichtung gut auszunutzen, wird die bei der Verminderung der Last des Antriebsmotors anfallende überschüssige Energie zurückgewonnen und im dynamischen Energiesystem gespeichert.

[0015] Bei einem negativen Lastsprung, z. B. aufgrund einer entsprechenden Änderung des Stellorgans für die vom Antriebsmotor abzugebende Leistung wird der Stromrichter auf Umkehrbetrieb eingestellt. Ebenso wird der DC/DC-Wandler so eingestellt, daß er Strom in die Speicherbatterie einspeist und diese auflädt. Der Ladestrom wird durch die Ladekontrolle bestimmt, die in Abhängigkeit vom Ladezustand der Speicherbatterie die Ladeströme über den DC/DC-Wandler steuert. Bei einer Verminderung des vom Antriebsmotor abzugebenen Solldrehmoments durch die Vorgabe eines geringeren Drehmomentsollwerts wird vorzugsweise aus dem Kennfeld der für das geringere Drehmoment erforderliche Strom bestimmt und an Hand des jeweiligen Belastungszustands des Brennstoffzellensystems bei der Vorgabe des geringeren Drehmomentsollwerts und der Speicherkapazität der Speicherbatterie diese nach der Umkehr des Stromflusses im Stromrichter mit dem maximal zulässigen Ladestrom über den DC/DC-Wandler geladen und das Brennstoffzellensystem auf den für das geringere Solldrehmoment erforderlichen Strom eingestellt. Mit dieser Maßnahme wird eine Überhitzungsgefahr des Brennstoffzellensystems vermieden.

[0016] Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird die Richtung der Brenngas- und Luftzufuhr zur Brennstoffzelle periodisch umgekehrt, wobei während der Umkehr der Gaszufuhr ein auf die momentane Stromausgabe des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiestroms unmittelbar vor der Umkehrung abgestimmter Stromimpuls vom dynamischen Energiesystem über den DC/DC-Wandler in den Stromrichter eingespeist wird. Auf diese Weise werden unerwünschte Schwankungen des Antriebsmoments vermieden.

[0017] Es ist weiterhin zweckmäßig, wenn die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems auf Erreichen oder Unterschreiten eines noch für den einwandfreien Betrieb zulässigen Spannungsgrenzwerts überwacht wird, wobei bei Erreichen des Spannungsgrenzwerts die Spannung durch Stromeinspeisung über den DC/DC-Wandler auf wenigstens den zulässigen Grenzwert geregelt wird. Insbesondere werden die Belastungssituation des Energieversorgungssystems beim Eingreifen der Regelung und die Häufigkeit des Eingreifens der Spannungsregelung während des Betriebs des Energieversorgungssystems registriert, wobei nach Überschreiten einer vor-

gebbaren Anzahl von Eingriffen die Dynamik durch Reduzierung der Anstiegsgeschwindigkeit des Stroms des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiesystems und die Größe der abgegebenen Leistung begrenzt werden.

[0018] Günstig ist es, die Anstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsleistung des Brennstoffzellensystems bei ausreichender Speicherbatterieladung bei Erhöhung des Drehmomentsollwerts zu begrenzen und den für die Abgabe des Drehmomentsollwerts notwendigen Strom während des Anstiegs der Ausgangsleistung durch das dynamische Energiesystem zu liefern. Dabei ist es für einen Betrieb des Energieversorgungssystems mit hohem Wirkungsgrad vorteilhaft, durch eine Rampe mit geringer Anstiegsgeschwindigkeit den durch den Drehmomentsollwert geforderten Lastzustand des Brennstoffzellensystems anzunähern.

[0019] Besonders zweckmäßig ist es, wenn mittels des Betriebsarten-Wahlschalters wenigstens drei Betriebsarten für den Antriebsmotor einstellbar sind, von denen eine auf eine große Dynamik der mobilen Vorrichtung, eine zweite auf eine geringere Dynamik bei höherem Wirkungsgrad und eine dritte auf Stop- und Go-Betrieb gerichtet ist, wobei im Stop- und Go-Betrieb bei Beschleunigungen die Ströme für den Antriebsmotor vom dynamischen Energiesystem erzeugt werden und beim Abbremsen darin gespeichert werden.

[0020] Der vom dynamischen Energiesystem aufzubringende Anteil des Stroms an dem für die Erzeugung einer angeforderten Antriebsleistung notwendigen Strom wird insbesondere mit dem jeweils vorhandenen Istwert des von der mobilen Vorrichtung verbrauchten Stroms und dem von Brennstoffzellensystem verfügbaren Strom bestimmt.

[0021] Bei reduzierter Leistung des Brennstoffzellensystems wird vorzugsweise ein Notlauf des Energieversorgungssystems durch Spannungsregelung im Hochvoltnetz mittels des DC/DC-Wandlers und Einspeisung von Strom aus der Speicherbatterie gewährleistet.

[0022] Bei einer Anordnung der eingangs beschriebenen Art wird das Problem erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine mit einem Geschwindigkeitssensor der mobilen Vorrichtung und einem Geber für ein vom Antriebsmotor zu erzeugendes Solldrehmoment verbundene Fahrzeugsteuereinheit für die Einstellung des Solldrehmoments einer Motorsteuereinheit und für die Bestimmung der in einem Kennfeld zu Drehmomentwerten und Drehzahlwerten gespeicherten Stromsollwerte für die mobile Vorrichtung vorgesehen ist, daß die Fahrzeugsteuereinheit mit einer Energiesteuereinheit verbunden ist, die mit dem Brennstoffzellensystem, mit einem Batteriemanagementsystem und mit dem DC/DC-Wandler verbunden ist, daß der von der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems abgegebene Strom gemessen und als Brennstoffzellenstromwert der Energiesteuereinheit zugeführt wird, daß der Strom des Antriebs-

motors vor dem Stromrichter gemessen und als Fahrstromwert der Energiesteuereinheit zugeführt wird, daß die Ströme der weiteren Verbraucher gemessen oder berechnet und der Energiesteuereinheit als Summenstromwert zugeführt werden, daß ein Betriebsartenwahlschalter für die Einstellung verschiedener Dynamik-Verhal-Verhaltensweisen des Energieversorgungssystems mit der Energiesteuereinheit verbunden ist, daß vom Batteriemanagementsystem werte des Ladezustands der Speicherbatterie und Werte über den vorgebbaren maximalen Entlade- und Ladestrom einer Energieflußsteuerung in der Energiesteuereinheit zugeführt werden und daß der Stromsollwert, der Brennstoffzellenstromwert, der Fahrstromwert, der Summenstromwert, die mit dem Betriebsartenwahlschalter eingestellte Betriebsart und der Ladezustand sowie der Wert des maximalen Lade- oder Entladestroms in der Energiesteuereinheit mit einem oder mehreren Programmen derart verarbeitet werden, daß bei einer Sollleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vorrichtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise und der unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Sollleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird. Der von der Batterie beizutragende Strom wird aus dem Fahrzeugstrom und dem verfügbaren Strom der Brennstoffzelle bestimmt, was nur eine sehr kurze Zeit beansprucht.

[0023] Die Erfindung wird im folgenden an Hand eines in einer Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben, aus dem sich weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile ergeben.

#### Ausführungsbeispiel

[0024] Dabei zeigen:

[0025] Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Anordnung zur Steuerung der ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem sowie eine Energiesteuereinheit aufweisenden Energieversorgung einer mobilen Vorrichtung mit wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor,

[0026] Fig. 2 ein Block- bzw. Signalflußschaltbild der in Fig. 1 dargestellten Energiesteuereinheit,

[0027] Fig. 3 ein Blockschaltbild eines Modells eines Brennstoffzellensystems mit einem Methanol-Reformer und mit einer Steuereinheit,

[0028] Fig. 4 ein Diagramm des Brennstoffzellen- und des Energiesystemstroms bei maximaler Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit,

[0029] Fig. 5 ein Diagramm des Brennstoffzellen-

und des Energiesystemstroms bei einer unterhalb der maximalen Beschleunigung liegenden Beschleunigung,

[0030] Fig. 6 ein Diagramm von Strömen des Brennstoffzellensystems der Vorrichtung und des Energiesystems in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Betriebszuständen.

[0031] Eine mobile Vorrichtung, insbesondere ein Fahrzeug 1, enthält eine Antriebsmotoreinheit 2, die einen Stromrichter 3 aufweist, an den ein nicht näher dargestellter Motor angeschlossen ist, bei dem es sich um einen Asynchronmotor handeln kann. Als mobile Vorrichtung kann auch eine Lokomotive oder ein Gabelstapler vorgesehen sein. Der Motor wird mittels des Stromrichters 3 durch eine Motorsteuerung 4 drehzahl- bzw. drehmomentgesteuert. Der Stromrichter 3 ist auf seinen, dem Motor entgegengesetzten Anschlüssen mit einem Gleichstromnetz 5 verbunden, das als Hochvoltnetz bezeichnet wird und eine Spannung im Bereich von 250–450 V aufweist. Neben der Antriebsmotoreinheit 2 sind im Fahrzeug 1 weitere, mit 6 bezeichnete Stromverbraucher vorhanden. Bei diesen Verbrauchern handelt es sich z. B. um einen Kompressor, um Lüfter, um eine Wasserpumpe, um die Verbraucher einer Klimaanlage und um einen DC/DC-Wandler zwischen dem Hochvoltnetz und einem 12V, 24 oder 42V Niedervoltnetz mit weiteren Verbrauchern wie Scheinwerferlampen, Scheibenwischermotoren, Fensterscheibenantrieben, Blinkern usw. Das Gleichstromnetz 5 ist an die nicht näher bezeichneten, elektrischen Ausgänge eines Brennstoffzellensystems 7 mit einer nicht näher bezeichneten Brennstoffzelle angeschlossen. Das Brennstoffzellensystem 7 enthält an sich bekannte Elemente wie einen Tank mit flüssigem Kraftstoff z. B. Methanol, einen Reformer, einen Wassertank und einen Kompressor sowie eine Brennstoffzelle, der Brenngas aus dem Reformer und Luft aus dem Kompressor zugeführt wird. Eine Brennstoffzellensteuerung 8 betätigt die Stellglieder des Brennstoffzellensystems, um diese zur Abgabe einer entsprechenden Leistung zu veranlassen. Mit dem Gleichstromnetz 5 ist auch ein DC/DC-Wandler 9 verbunden, der für bidirektionalen Betrieb ausgebildet ist und auf seinen, dem Hochvoltnetz 5 abgewandten Anschlüssen mit einer Speicherbatterie 10 verbunden ist, die z. B. eine Spannung von 200 V erzeugt. Anstelle einer Speicherbatterie kann auch ein Superkondensator oder ein anderer Energiespeicher vorgesehen sein.

[0032] Mit dem DC/DC-Wandler 9 ist eine DC/DC-Wandlersteuerung 11 verbunden, die die Stromrichtung des DC/DC-Wandlers und die ausgegebene Stromstärke einstellt und diesen auf Spannungsregelung auf der Seite des Gleichstromnetzes 5 umstellen kann. Die Speicherbatterie 10 ist an ein Batteriemanagementsystem 12 angeschlossen.

[0033] Für die Messung der Gleichspannung des Gleichstromnetzes 5 ist ein Spannungssensor 13 an die Ausgänge der Brennstoffzelle angeschlossen.



Der von der Brennstoffzelle ausgegebene Strom wird mit einem Stromsensor 14 gemessen. Dieser Strom, wird im folgenden als Brennstoffzellenfahrzeugstrom bezeichnet. Der von den zusätzlichen Verbrauchern bezogene Strom wird mit einem Stromsensor 15 gemessen und ist im folgenden als Hilfsstrom bezeichnet. Der zu der Antriebssteuereinheit 2 über den Stromrichter 3 fließende oder aus dem Stromrichter 3 zurückgespeiste Strom wird mit einem Stromsensor 16 gemessen und ist im folgenden auch als Fahrstrom bezeichnet. Der vom oder zum DC/DC-Wandler auf der Gleichstromnetzseite fließende Strom wird mit einem Stromsensor 17 gemessen und ist im folgenden als DC-Wandlerstrom bezeichnet. Die Spannung der Batterie 10 wird mit einem Spannungssensor 20 gemessen, der mit dem Batteriemanagementsystem 12 verbunden ist. Die Motorsteuerung 4 ist mit einer Fahrzeugsteuereinheit 18 über Datenleitungen, die in Fig. 1 gestrichelt gezeichnet sind, verbunden. Eine Energiesteuereinheit 19 ist über in Fig. 1 gestrichelt dargestellte Datenleitungen mit der Fahrzeugsteuereinheit 18, der Brennstoffzellensteuerung 8, dem Batteriemanagementsystem 12 und der DC/DC-Wandlersteuerung 11 verbunden. Der Spannungssensor 13 und der Stromsensor 14 sind mit der Brennstoffzellensteuerung 8 verbunden. Der Stromsensor 15 und der Stromsensor 16 sind mit der Fahrzeugsteuereinheit 18 verbunden. Der Spannungssensor 20 und der Stromsensor 17 sind mit dem Batteriemanagementsystem 12 verbunden, das alle Daten der Batterie 10 überwacht und ständig den Ladestrom der Batterie 10 ermittelt.

[0034] Der Energiesteuereinheit 19 wird von der Brennstoffzellensteuerung 8 der Wert des vom Stromsensor 14 gemessenen Brennstoffzellenfahrzeugstroms, im folgenden  $I_{BRZFahrz}$  genannt, auf einer Datenleitung 21 gemeldet. Der Wert des vom oder gegebenenfalls von mehreren Antriebsmotoren zum jeweiligen Zeitpunkt verbrauchten Stroms, der in den Stromrichter 3 fließt und im folgenden mit  $I_{Fahrzeug}$  bezeichnet ist, wird der Energiesteuereinheit 19 auf einer Datenleitung 22 zugeführt. Auf einer Datenleitung 23 wird der Energiesteuereinheit 19 der Wert des Hilfsstroms, im folgenden  $I_{Aux}$  bezeichnet, auf einer Datenleitung 23 gemeldet. Auf einer weiteren Datenleitung 24 wird der Energiesteuereinheit 19 der Wert des von der Brennstoffzelle verfügbaren Stroms, im folgenden  $I_{Verf}$  bezeichnet zugeführt. Der Wert  $I_{Verf}$  ist ein Grenzwert und gibt an, wieviel Strom von der Brennstoffzelle gezogen werden darf. Dieser Strom  $I_{Verf}$  ist ein dynamischer Wert als Antwort auf einen Stromwert  $I_{BRZAnf}$ , der von der Energieflußsteuerung 38 an die Stellglieder des Brennstoffzellensystems 7 ausgegeben wird. Das Brennstoffzellensystem 7 dosiert soviel Kraftstoff, daß dieser Strom  $I_{Verf}$  gezogen werden darf und muß. Wird zuviel Strom gezogen, ist die Brennstoffzelle unterversorgt, wird zuwenig Strom gezogen, wird zuviel  $H_2$  erzeugt, was dem Reformersystem schadet.  $I_{Verf}$  ist somit ein dynamischer Strom, der auch gezogen werden soll. Der Wert  $I_{BRZ}$

wird vom Wert  $I_{Verf}$  subtrahiert, was in Fig. 2 durch die Summierstelle 24a dargestellt ist. Die Stromwerte  $I_{Fahrzeug}$  und  $I_{Aux}$  werden einander überlagert, was in Fig. 2 mit einer Summierstelle 25 dargestellt ist. Vom Wert  $I_{Verf}$  wird der Wert  $I_{Aux}$  subtrahiert. Dies ist in Fig. 2 mit 26 bezeichnet. Von der Summe aus  $I_{Fahrzeug}$  und  $I_{Aux}$  wird in einer mit 27 bezeichneten Summierstelle der Wert  $I_{Verf}$  subtrahiert. Wenn das Ergebnis  $I_{Fahrzeug} + I_{Aux} - I_{Verf}$  größer als ein maximal vorgegebbarer, gespeicherter Entladestromwert der Speicherbatterie 10 ist, wird dieser mit  $I_{Battmaxl}$  bezeichnete Stromwert in einem Vergleich 28 weiterverarbeitet. Der vom Vergleich 28 weitergeleitete Wert wird einem weiteren Vergleich 29 zugeführt, in dem ein Vergleich mit dem vorgebbaren, gespeicherten maximal zulässigen Entladestrom, der in Fig. 2 mit  $I_{Battmaxe}$  bezeichnet ist, stattfindet. Auf diesen Wert wird der Wert am Ausgang des Vergleichs 29 begrenzt, wenn der Eingangswert größer ist. Der Ausgangswert des Vergleichs 29 wird in einer Summierstelle 30 der Differenz  $I_{Verf} - I_{Aux}$  überlagert und ergibt einen Stromwert  $I_{Fahrzeugverf}$ , der der Fahrzeugsteuereinheit 18 zugeführt wird. Der Fahrzeugsteuereinheit 18 steht daher der maximal verfügbare Stromwert zur Verfügung, so daß diese Einheit keine höhere Stromanforderung ausgibt.

[0035] Die Fahrzeugsteuereinheit 18, der durch einen Sollwertgeber 31 die vom Antriebsmotor abzugebende Leistung gemeldet wird, berechnet aus der Position des Sollwertgebers und der von einem Sensor gemessenen Drehzahl des Antriebsmotors aus einer im Probetrieb gespeicherten Tabelle des Drehmoments als Funktion des Stroms und der Drehzahl einen Sollstromwert für das Fahrzeug, im folgenden mit  $I_{Anf}$  bezeichnet, der in einer Summierstelle 32 dem Wert  $I_{Aux}$  überlagert wird. Eine Batterieladesteuerung 33, die Teil der Energieflußsteuereinheit 19 ist, überwacht den Ladezustand der Speicherbatterie 10 mittels nicht näher dargestellter Sensoren und erzeugt in Abhängigkeit von der gemessenen Batterietemperatur und der aus dem gemessenen Drehzahlverlauf pro Zeiteinheit ermittelten Fahrweise bedarfsweise eine Ladestromanforderung, die mit  $I_{Ladeanf}$  bezeichnet ist. Der Wert  $I_{Ladeanf}$  wird in einer Summierstelle 34 der Summe aus  $I_{Anf}$  und  $I_{Aux}$  überlagert. Das in der Summierstelle 32 berechnete Ergebnis wird einem Vergleich 34 zugeführt, der feststellt, ob der Eingangswert größer als ein maximal vorgegebbarer, gespeicherter, dynamischer Brennstoffzellenstromwert, im folgenden mit  $I_{BRZDynamax}$  bezeichnet, ist.

[0036] Falls der Ausgangswert der Summierstelle größer als  $I_{BRZDynamax}$  ist, wird dieser Wert weiterverarbeitet in einer Summierstelle 35, in der ein Stromwert  $I_{Anf}$  überlagert wird. Der wert  $I_{Anf}$  wird von einem quasistationären Regler 36 berechnet. Dem quasistationären Regler werden die Werte  $I_{Fahrzeug}$ ,  $I_{Aux}$ ,  $I_{Verf}$  und  $I_{Ladeanf}$  zugeführt, aus denen der Regler  $I_{Anf}$  berechnet.

[0037] Die in der Summierstelle 35 gebildete Summe wird in einem Vergleich 37 mit einem Stromminimalwert, im folgenden  $I_{BRZmin}$  genannt, verglichen.



Dieser Stromminimalwert wird an eine variable Energieflußsteuerung **38** weitergeleitet, wenn das Ergebnis der Summierstelle **35** kleiner als dieser Wert ist.

[0038] Einer Berechnungseinheit **39** für Grenzwerte des Batteriestroms wird von einem nicht dargestellten Sensor der Temperaturwert der Batterie  $T_{\text{Batt}}$ , von der Batterieladesteuerung **33** der Ladezustand der Batterie LZ und der Wert der Spannung der Brennstoffzelle  $U_{\text{BZ}}$  zugeführt. Aus diesen Werten bestimmt die Berechnungseinheit **39** einen maximalen Batteriestromwert  $I_{\text{MaxBatt}}$ .

[0039] Eine weitere Berechnungseinheit **40** für den maximalen Brennstoffzellenstrom  $I_{\text{maxBRZ}}$  erhält von einem nicht dargestellten Temperatursensor der Brennstoffzelle  $T_{\text{BRZ}}$  den maximalen dynamischen Brennstoffzellenstromwert  $I_{\text{BRZDynamax}}$  und einen vorab gespeicherten, z. B. durch Versuche ermittelten, maximalen statischen wert des Brennstoffzellenstroms  $I_{\text{BRZmaxstat}}$  zugeführt.

[0040] Der Wert der Ladeanforderung  $I_{\text{Ladeanf}}$ , der Wert  $I_{\text{Aux}}$  und die werte  $I_{\text{maxBatt}}$  und  $I_{\text{BRZmax}}$  werden einer Berechnungseinheit **41** zugeführt, die daraus den Wert des maximalen Fahrzeugstroms  $I_{\text{maxFahr}}$  bestimmt und der Fahrzeugsteuereinheit **19** zuführt.

[0041] Der Wert des Ausgangs des Vergleichers **20** wird in einer Summierstelle **42** der Differenz aus  $I_{\text{BRZ-Fahrz}}$  und  $I_{\text{Verf.}}$  überlagert. Das so ermittelte Ergebnis wird dem Wert  $I_{\text{Ladeanf}}$  in einer Summierstelle **43** hinzugefügt.

[0042] Das Brennstoffzellensystem **7** hat eine Flowswitch-Kompensation, mit der der Leistungseinbruch beim Umschalten der Richtung der Gaszufuhr zur Brennstoffzelle ausgeglichen wird. Eine Flowswitch-Steuereinheit **44** erzeugt während des Umschaltzeitraums einen Stromwert  $I_{\text{FSW}}$ , der in einer Summierstelle **45** dem Ergebnis aus der Summierstelle **43** hinzugefügt wird.

[0043] Um zu verhindern, daß die Spannung im Hochvoltnetz **5** auf einen Wert absinkt, der für den Betrieb der Brennstoffzelle gefährlich ist, ist eine Spannungsregeleinheit **46** vorgesehen, mit der die Spannung des Hochvoltnetzes auf Erreichen oder Unterschreiten eines unteren Grenzwerts überwacht wird. Sobald dieser Grenzwert erreicht oder unterschritten wird, gibt die Spannungsregeleinheit **46** einen Wert  $I_{\text{REG}}$  aus, der in einer Summierstelle **47** dem Ergebnis des Ausgangs der Summierstelle **45** überlagert wird. Der Wert am Ausgang der Summierstelle **47** wird einem Vergleich **48** zugeführt, der diesen Wert auf den maximal eingestellten Ladestrom begrenzt, wenn der Eingangsstrom größer ist.

[0044] Der Ausgangswert des Vergleichers **48** wird einem weiteren Vergleich **49** zugeführt, der den Wert auf den maximal eingestellten Entladestrom  $I_{\text{Batt-maxe}}$  begrenzt, wenn der Eingangswert höher ist. Der Ausgangswert des Vergleichers **48** wird als Stromsollwert  $I_{\text{DC/DC}}$  der DC/DC-Wandlersteuerung **11** zugeführt.

[0045] Die variable Energieflußsteuerung **38**, ein wesentlicher Bestandteil der Energiesteuereinheit

**19**, erhält Meßwerte der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_F$ , des Sollwertgebers **31** über das vom Antriebsmotor verlangte So1ldrehmoment  $M_{\text{soll}}$ , den Wert  $I_{\text{Anff}}$  von der Fahrzeugsteuereinheit **18** und den Batterieladezustand von der Batterieladesteuerung **33**. Weiterhin ist im Fahrzeug **1** ein Betriebsartenwahlschalter, bestehend aus einer Reihe von Schaltern **50**, **51**, **52**, vorhanden, mit denen von Hand eine bestimmte Betriebsart des Dynamik-Verhaltens des Fahrzeugs **1** eingestellt werden kann. Die Schaltstellungen der Schalter **50**, **51**, **52** werden der variablen Energieflußsteuerung **38** zugeführt. Zusätzlich wird der variablen Energieflußsteuerung **38** von der Fahrzeugsteuereinheit **18** ein Signal über einen Eingang ABS zugeführt, das sich auf eine Antiblockierbremsung bezieht und dies der variablen Energieflußsteuerung **38** meldet. Die Energieflußsteuerung **38** verarbeitet diese Werte und gibt einen Wert  $I_{\text{BRZAnf}}$  an die Stellglieder des Brennstoffzellensystems **7** aus.

[0046] Die Speicherbatterie **10** mit dem Batteriemanagementsystem **12** und der DC/DC-Wandler **9** mit der DC/DC-Wandlersteuerung **11** bilden ein dynamisches Energiesystem **53**. In der variablen Energieflußsteuerung **38** ist ein Modell **54** des Brennstoffzellensystems **7** mit dem Methanol-Reformer und den dazugehörigen, an sich bekannten Bauelementen gespeichert. Das Modell **54** weist ein rückwirkungsfreies Speicherglied n-ter Ordnung  $PTn_1$ , auf. Der Eingang **56** des Modells **54** wird von der Fahrzeugsteuereinheit **18** jeweils mit dem Drehmoment-sollwert beaufschlagt. Die Zeitkonstante des Speicherglieds  $PTn_1$  wird von einem Eingang **55** des Modells **54** eingestellt. Das Speicherglieds  $PTn_1$  wird auch als Verzögerungsglied bezeichnet. Der Eingang **56** und der Ausgang des Speicherglieds  $PTn_1$  sind mit Eingängen einer Steuereinheit **57** verbunden, die das Verhalten des dynamischen Energiesystems **53** beeinflusst.

[0047] Die Steuereinheit **57** ist ausgangsseitig mit einem Speicherglied n-ter Ordnung  $PTn_2$  verbunden, das einen weiteren mit einem Umschalter **58** verbundenen Eingang aufweist, der von der Fahrzeugsteuereinheit **18** eingestellt wird. Die Einstellung hängt davon ab, ob sich das Fahrzeug **1** in der Antiblockierbremsystembetriebsweise befindet oder nicht. Über den Umschalter **58** werden im Speicherglied  $PTn_2$  zwei verschiedene Zeitkonstanten über die Eingänge **100** bzw. **101** eingestellt, von denen die eine auf die Dynamik im Normalbetrieb des dynamischen Energiesystems **53** und die andere auf den Antiblockierbremsbetrieb eingestellt ist. Der Ausgang des Speicherglieds  $PTn_1$  zeigt die „langsame“ Reaktion des Brennstoffzellensystems an. Der Ausgang des Speicherglieds  $PTn_2$  zeigt die „schnelle“ Reaktion des dynamischen Energiesystems **53** an.

[0048] Die Ausgangswerte der Speicherglieder  $PTn_1$  und  $PTn_2$  werden in einer Summierstelle **59** einander überlagert, die die Summe der „schnellen“ und „langsamen“ Reaktionen anzeigt. Die Ausgangswerte der Speicherglieder  $PTn_1$  und  $PTn_2$  und der Sum-

mierstelle werden von der variablen Energieflußsteuerung 38 verarbeitet, wobei verschiedene Dynamik-Betriebsarten des Fahrzeugs 1 berücksichtigt werden. Das Speicherglied  $PTn_2$  begrenzt die Energielieferung des dynamischen Energiesystems in seiner Dynamik und wird auch als Begrenzung bezeichnet.

[0049] In einer ersten Betriebsart, die als „Beschleunigungs-Verstärkung“ oder „Beschleunigungs-Boost“ bezeichnet werden kann, wird das dynamische Energiesystem 53 zur Verbesserung der Längsdynamik des Fahrzeugs eingesetzt. Das dynamische Energiesystem 53 wird dabei von der Energiesteuereinheit 19 für die Dauer eines Beschleunigungsvorgangs, also zeitlich begrenzt, zur Abgabe von Leistung veranlaßt, die additiv zu der vom Brennstoffzellensystem 7 erzeugten Leistung wirkt. Hierbei steuert die Fahrzeugsteuereinheit 18 den Drehmomentsollwert in Abhängigkeit vom verfügbaren Strom aus dem Kennfeld  $M_{\text{soll}} = F(I_{\text{max}}, n)$  vor.  $I_{\text{max}}$  ist hierbei der Summenstrom des Brennstoffzellensystems 7 und des dynamischen Energiesystems 53.

[0050] In Fig. 4 ist der Strom in Ordinateenrichtung als Funktion der Zeit  $t$  in Abszissenrichtung dargestellt. Zum Zeitpunkt  $t_1$  erfolgt ein Sollwertsprung auf den Sollwert  $I_{\text{Anff}}$ , der in Fig. 4 mit 60 bezeichnet ist. In der Betriebsweise „Beschleunigungs-Boost“ fordert die variable Energieflußsteuerung 38 den maximalen Strom des Brennstoffzellensystems 7  $I_{\text{BRZMax}}$  und den maximalen Strom des dynamischen Energiesystems 53  $I_{\text{BattMax an}}$ . Der Brennstoffzellenstrom  $I_{\text{BZ}}$ , der in Fig. 4 mit 61 bezeichnet ist, steigt nach einer Übergangsfunktion bis auf  $I_{\text{BRZmax}}$  an, den die variable Energieflußsteuerung 38 an Hand des Modells 54 erfaßt und das dynamische Energiesystem 53 über die Einstellung des DC/DC-Wandlers 9 zur Abgabe des mit 62 in Fig. 4 bezeichneten Stroms  $I_{\text{Batt}}$  veranlaßt, der mit der durch das Speicherglied  $PTn_2$  bestimmten Rampe ansteigt und auf dem Strom  $I_{\text{BattMax}}$  während der Dauer der „Beschleunigungs-Verstärkung“ verharret.

[0051] Die Fig. 5 zeigt den Stromverlauf als Funktion der Zeit bei einem Sollwertsprung 53, der kleiner als die Summe  $I_{\text{BRZMax}} + I_{\text{Battmax}}$  ist. Die variable Energieflußsteuerung 38 veranlaßt die Brennstoffzelle  $I_{\text{BZ}}$  zur Abgabe des Stroms  $I_{\text{BRZMax}}$ . Der Verlauf des Stroms  $I_{\text{BZ}}$  ist in Fig. 5 mit 64 bezeichnet. Der Anstieg erfolgt mit der Übergangsfunktion des Brennstoffzellensystems. Das dynamische Energiesystem 53 erzeugt den Strom  $I_{\text{Batt}}$ , dessen Verlauf in Fig. 5 mit 65 bezeichnet ist und der zum Strom  $I_{\text{BZ}}$  addiert wird, wodurch der Sollwert 63 schneller erreicht wird. Sobald der Sollwert 63 erreicht ist, speist die Brennstoffzelle den Strom  $I_{\text{BRZMax}}$  ein, während der Strom  $I_{\text{Batt}}$  auf einen kleineren Wert zurückgeht, auf dem er während der Dauer der Beschleunigungs-Verstärkung verharret.

[0052] In Fig. 6 ist der Verlauf von Strömen  $I$  des Energieversorgungssystems des Fahrzeugs 1 und der Antriebseinheit in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  in

verschiedenen Betriebsweisen, wie „Dynamische Verstärkung“, „Quasistatischer Betrieb“ und „Bremsbetrieb“ dargestellt. Es sei angenommen, daß die Fahrzeugsteuereinheit 18 zum Zeitpunkt  $t_1$  einen Strom  $I_{\text{Anff}}$  für den Antriebsmotor anfordert. Der Sollstrom  $I_{\text{Anff}}$  ist in Fig. 1 mit 66 bezeichnet. Die variable Energieflußsteuerung 38 beaufschlagt die Stellglieder des Brennstoffzellensystems 7 mit einem Brennstoffzellenanforderungsstrom  $I_{\text{BRZAnf}}$ , der den Brennstoffzellenstrom  $I_{\text{Verf}}$  nach dem in Fig. 6 mit 67 bezeichneten Verlauf bis zu einem Wert  $I_{\text{BRZDynmax}}$  zum Zeitpunkt  $t_2$  ansteigen läßt. Ab dem Zeitpunkt  $t_2$  steuert die variable Energieflußsteuerung 38 den Brennstoffzellenstrom  $I_{\text{Verf}}$  so, daß er linear mit einstellbarer Steigung bis auf den auf den maximalen statischen Wert  $I_{\text{BRZMaxstat}}$  ansteigt. Dieser Wert ist zum Zeitpunkt  $t_3$  erreicht.

[0053] Vom Zeitpunkt  $t_1$  bis  $t_2$  arbeiten das Brennstoffzellensystem 7 und das dynamische Energiesystem 53 in der Betriebsart: „Dynamische Verstärkung“. Dabei wird das dynamische Energiesystem 53 zur Abgabe eines hohen Batteriestroms  $I_{\text{Batt}}$  veranlaßt, der dem Strom des Brennstoffzellensystems  $I_{\text{Verf}}$  hinzugefügt wird. Der Strom  $I_{\text{Batt}}$ , dessen Verlauf in Fig. 6 mit 68 bezeichnet ist und der gemäß der Einstellung des Speicherglieds  $PTn_2$  mit einer auf die Anstiegsgeschwindigkeit des Brennstoffzellenstroms abgestimmten hohen Anstiegsgeschwindigkeit erzeugt wird, ergänzt den Strom  $I_{\text{Verf}}$  zu einem Strom  $I_{\text{Fahrzeug}}$ , dessen Verlauf in Fig. 6 mit 69 dargestellt ist. Durch den dynamischen Betrieb mit Batterieunterstützung wird die Dynamik des Fahrzeugs 1 verbessert.

[0054] Vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zum Zeitpunkt  $t_3$  arbeiten das Brennstoffzellensystem 7 und das dynamische Energiesystem 53 im quasistatischen Betrieb. In dieser Betriebsart wird das Brennstoffzellensystem 7 undynamisch mit Unterstützung des dynamischen Energiesystems 53 betrieben, wodurch sich Kraftstoff einsparen läßt. Der Brennstoffzellenstrom  $I_{\text{Verf}}$  steigt linear an, was in Fig. 6 mit 70 bezeichnet ist. Der Batteriestrom  $I_{\text{Batt}}$  nimmt linear bis zum Zeitpunkt  $t_3$  ab. Dieser Verlauf ist in Fig. 6 mit 71 bezeichnet.

[0055] Zum Zeitpunkt  $t_3$  ist der statische Betriebspunkt des Brennstoffzellensystems 7 erreicht, d. h. der Brennstoffzellenstrom  $I_{\text{Verf}}$  ist auf seinem für den jeweiligen Lastfall maximalen Wert angekommen. Bei gleichbleibender Anforderung bleibt der Brennstoffzellenstrom konstant.

[0056] Es sei angenommen, daß zum Zeitpunkt  $t_4$  der Sollstrom durch eine entsprechende Änderung der Drehmomentanforderung auf null reduziert wird. Das dynamische Energiesystem wird auf Rekuperation umgestellt, d. h. der Stromrichter 3 speist freiwerdende Energie in das Hochvoltnetz zurück. Über den auf Umkehrbetrieb eingestellten DC/DC-Wandler 9 wird die Speicherbatterie 10 geladen. Der Strom  $I_{\text{Batt}}$  wird, begrenzt auf  $I_{\text{Battmaxe}}$ , in die Speicherbatterie 10 eingespeist. Der Verlauf  $I_{\text{Batt}}$  ist in Fig. 6 mit 72 bezeichnet. Der Strom  $I_{\text{Fahrzeug}}$  fällt im sog. Bremsbetrieb des Antriebsmotors gemäß dem in Fig. 6 mit 73 be-

zeichneten Verlauf ab. Der Strom  $I_{\text{verf}}$  wird durch die variable Energieflusssteuerung 38 entsprechend dem in Fig. 4 mit 74 bezeichneten Verlauf reduziert, wobei auf einen sehr steilen Abfall ein unwesentliche linearer Abfall bis zum Zeitpunkt  $t_s$  stattfindet, in dem z. B. noch der Strom  $I_{\text{Aux}}$  erzeugt wird. Nach dem Abklingen des Stroms  $I_{\text{Fahrzeug}}$  auf null nimmt die Speicherbatterie 10 den noch vom Brennstoffzellensystem 7 abgegebenen Strom, soweit er die Ströme der weiteren Verbraucher übersteigt, auf. Auf die vorstehend angegebene Art ist es möglich, bei einem Lastsprung von einem hohen Lastpunkt zu einem niedrigen Lastpunkt das Drehmoment des Antriebsmotors in kurzer Zeit abzubauen. Die überschüssige Energie wird gespeichert. Das zeitliche Verhalten der Drehmomentreduktion als Antwort auf die Sollwertgeberänderung hängt ab von: der Fahrzeuggeschwindigkeit (bei hohen Geschwindigkeiten erfolgt die Reduzierung langsamer als bei niedrigen) und vom Antriebsstrom (bei hohen Strömen langsamer).

[0057] Durch die erfindungsgemäße adaptive Flowswitch-Kompensation werden der Fahrkomfort und die regelungstechnische Stabilität beim Betrieb, insbesondere mit hoher Belastung, z. B. Vollast, verbessert. Bei Brennstoffzellen kann es erforderlich sein, die Richtung der Gase über die Zellen periodisch umzukehren. Zum Umschaltzeitpunkt entsteht kurzzeitig eine elektrische Leistungsverminderung, was bei konstanter Belastung einen Spannungseinbruch zur Folge hat. In einem Fahrzeug mit einer Brennstoffzelle stellt der elektrische Fahrtrieb die Hauptlast dar. Die elektronische Steuerung des Elektro-Antriebs muß bei einem Spannungseinbruch die Stromaufnahme sehr dynamisch erhöhen, um ein konstantes Drehmoment zu halten. Insbesondere bei hohen Lastpunkten wirkt sich der Leistungseinbruch der Brennstoffzelle negativ auf das Gesamtsystem aus: Das Antriebsmoment kann nicht immer konstant gehalten werden, dies ergibt Einbusen beim Fahrkomfort.

[0058] Der Elektro-Antrieb muß seine Stromanforderung sehr dynamisch erhöhen. Dies wirkt sich störend auf den Regelungsprozeß der Stromerzeugung aus.

[0059] Die Erfindung ermöglicht es, kurzzeitig Leistungseinbrüche des Stromerzeugungssystems zu kompensieren. Dadurch können Drehmoment-schwankungen an elektrischen Antrieben (Fahrtrieb aber auch Hilfsantriebe) vermieden werden und somit der Fahrkomfort erhöht werden. Der Regelungsprozeß des Stromerzeugungssystems wird hierdurch verbessert, da die Stromanforderung durch die Last (Fahrtrieb) nicht erhöht werden muß und somit keine Störgröße auf den Regelungsprozeß einwirkt.

[0060] Erfindungsgemäß wird die adaptive Flowswitch-Kompensation durchgeführt, um einen Leistungseinbruch der Brennstoffzelle auszugleichen und damit einen Spannungseinbruch zu verhindern. Es wird ein gesteuerter Energieeintrag aus der

Speicherbatterie 10 abhängig vom Laststrom der Brennstoffzelle und einer Flowswitch-Information von der Brennstoffzelle erzeugt. Durch die Beobachtung der resultierenden Spannung auf der Hochvoltseite bei der Flowswitch-Kompensation wird eine Kennlinie angepaßt, nach der sich die Höhe des Stroms bemißt.

[0061] Das Brennstoffzellensystem signalisiert via Logiksignal einen bevorstehenden Flowswitch. Zum Zeitpunkt des Flowswitch wird abhängig vom momentanen Brennstoffzellenstrom der DC/DC-Wandler in der Weise gesteuert, daß ein kurzer Stromimpuls zusätzlich eingetragen wird. Die Form ist in einer Steuertabelle abgelegt und auf 1 normiert. Die Höhe des Impulses ist abhängig vom aktuellen Brennstoffzellenstrom und vom adaptiven Lernfaktor. Der adaptive Lernfaktor wird durch Beobachten des Spannungsverlaufs bei Auftreten eines Flowswitch ständig ermittelt und korrigiert systembedingte Streuungen und Schwankungen. Überschreiten die Abweichungen bestimmte Grenzen wird dies als Diagnoseinformation abgespeichert.

[0062] Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung ist die Unterspannungserkennung und im Zusammenhang damit ein additiver Energieeintrag als Funktion des Brennstoffzellentroms durch entsprechende Regelung des DC/DC-Wandlers 10. Bei einem Stromerzeugungssystem mit einer Brennstoffzelle ist der Verlauf der Spannung in Abhängigkeit vom Laststrom von sehr vielen Faktoren abhängig. Die Abhängigkeiten sind zur Zeit nicht alle mathematisch beschreibbar bzw. vorhersagbar. Mit dem erfindungsgemäßen Unterspannungsregler als Bestandteil des Energiemanagements kann die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Systems erhöht werden. Zusätzlich ist es möglich, während des Betriebs auf sich negativ verändernde Systemeigenschaften aktiv zu reagieren. So können die Verfügbarkeit des Systems erhöht und Informationen für Service und Wartung während des Betriebs ermittelt werden. Die Hauptfunktion des erfindungsgemäßen Unterspannungsreglers besteht darin, bei Erreichen eines unteren Grenzwerts der Spannung Energie aus der Batterie 10 zusätzlich einzuspeisen. Dabei wird die Strombilanz nicht berücksichtigt. Der Reglerausgang gibt eine additive Stromanforderung an den DC/DC-Wandler 9 aus und ist abhängig von der Regelabweichung ( $\Delta U$ ) und dem aktuellen Laststrom.

[0063] Ein weiterer Bestandteil der Erfindung ist eine Erkennung, wie häufig und bei welchen Situationen, z. B. in Abhängigkeit von der Lastgröße, Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte (Umweltbedingungen) der Regler eingreifen muß. Aus diesen Informationen werden Daten für Service und Wartung abgespeichert. Bei der Überschreitung eines bestimmten Häufigkeitswertes, d. h. der Regler ist pro Zeiteinheit  $>N$  mal aktiv, werden aktive Eingriffe in Dynamik und maximale Leistungsbereitstellung vorgenommen mit dem Ziel, die Verfügbarkeit des Systems zu gewährleisten. Die Einschränkung der verfügbaren Leistung

wird dem Fahrer in geeigneter Weise angezeigt.

[0064] Die Steuerung des Batteriestromanteils erfolgt in der Art und Weise, daß unabhängig von Parameterveränderungen des Gesamtsystems die Strombilanzierung immer korrekt ist. Als Istgröße ist der DC-Stromwert des Antriebssystems von besonderer Bedeutung. Der erforderliche Stromanteil der Batterie **10** wird aus einer Bilanzierung der Istströme  $I_{\text{Fahrzeug}}$  und des verfügbaren Stroms von Brennstoffzellensystem  $I_{\text{verf}}$  berechnet. Damit nimmt das Regelungskonzept eine ständige Verletzung der Strombilanz bewußt in Kauf.

[0065] Obwohl die Istgröße ein zeitliches Delay hat, hat sich dieses Verfahren als wesentlich geeigneter erwiesen, als die Sollwerte für den Batteriestromanteil vorauszuberechnen. Obwohl zur Funktion des beschriebenen Verfahrens zuerst eine Reaktionsgröße (Antriebsstrom) vorliegen muß, arbeitet das Verfahren sehr effektiv, da die Reaktionszeit der Stellgröße (Batteriestromanteil gesteuert über DC/DC-Wandler **9**) deutlich unter der Speicherzeitkonstante des Brennstoffzellensystems liegt (Kapazitive Energie des Brennstoffzellensystems). Die Strombilanz des Brennstoffzellensystems **7** wird hierdurch in optimaler Weise sichergestellt. Die Vorteile beruhen in einer exakten Energiebilanz, was insbesondere für Reformersysteme sehr wichtig ist. Grundsätzlich erhöht eine exakte Energiebilanz im Brennstoffzellensystem den Wirkungsgrad und die Lebensdauer des Reformers.

[0066] Unter Kenntnis, welche Energiemengen mit welcher Dynamik benötigt werden, kann das dynamische Energiesystem **53** gezielt gesteuert werden, bzw. die Stromanforderung an das Brennstoffzellensystem **7** in geeigneter Weise angepaßt werden.

[0067] Bei einer ABS-Bremmung kann es vorkommen, daß die angetriebenen Räder „im Schlupf laufen“. Es existieren regelungstechnische Verfahren, die in diesem Fall einen Korrektur/Erhöhungsmoment berechnen und an den Antrieb senden. Darauf beschleunigt dieser die Räder meist kurz, um den Schlupf abzubauen. Als Folge können die Räder wieder z. B. Seitenführung aufbauen. In diesem Fall ist nur eine geringe Energiemenge und eine vom einem entsprechend ausgelegten dynamischen Energiesystem abgebbare Leistung zeitlich begrenzt (meist nur bei der Bremsenleitung) erforderlich. Die Dynamik der bereitgestellten Leistung muß allerdings sehr hoch sein.

[0068] Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrzeugsteuereinheit **18** und die Energiesteuereinheit **19** Informationen verarbeiten bzw. zusätzlich Informationen selbst ermitteln:

1. Im oben beschriebenen Fall leitet die Fahrzeugsteuereinheit z. B. ein Bit „ABS-aktiv“ an die Energiesteuereinheit **19**. Diese leitet aufgrund dieser Information die zeitgleich übermittelte „ansteigende“ Sollstromanforderung nicht an das Brennstoffzellensystem **7** weiter, sondern „weiß“, daß es

sich um eine kurze dynamische, zeitlich begrenzte Anforderung der Fahrzeugsteuereinheit **18** handelt und deckt diesen Bedarf am besten mittels der Batterie **10** ab. Durch diese Methode wird das undynamische Brennstoffzellensystem **7** bei Belastungen dieser Art nicht unnötig in seiner Leistung hoch bzw. nach unten gefahren.

2. Die Fahrzeugsteuereinheit **18** schaltet die Zeitkonstante des Begrenzers des  $PTn_2$ -Glieds auf den kleinstmöglichen Wert, den das dynamische Energiesystem **53** darstellen/folgen kann. Die Folgen sind:

- Wirkungsgradverbesserung des Brennstoffzellensystems **7**, Senkung des Verbrauchs.
- Lebensdauerverlängerung des Brennstoffzellensystems.
- Dynamikverbesserung im Vergleich zu fester „zum Brennstoffzellensystem passenden“ Zeitkonstante des Speicherglieds  $PTn_2$  – Abgasverbesserung.

[0069] Weitere Anwendungsfälle bzw. Informationen, die in geeigneter Art und Weise verarbeitet werden, sind: Economy/Sport-Mode – „Informationsbit“: Economy Mode: leistungsschwächere undynamischere Nutzung des dynamischen Energiesystems. Sport-Mode: umgekehrt. (Schalter in der Mittelkonsole) Stop- and Go-Betrieb: Steuerung ermittelt mittels Drehmoment-, Strom-, Drehzahl-, Fahrgeschwindigkeitsdaten und deren Differenzquotienten, ob es sich um einen Stop- and Go-Betrieb (Fahren im Stau) handelt. Die Energiesteuereinheit **19** stellt dann eine „mittlere“ undynamische Sollstromanforderung an das Brennstoffzellensystem **7** ein. Die „leistungsschwachen“ Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge werden durch dynamische Anforderungen des dynamischen Energiesystems **53** abgedeckt. Die Folgen sind:

- Wirkungsgradverbesserung, Senkung des Verbrauchs,
- Abgasverbesserung.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Energieversorgung einer wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor aufweisenden, mobilen Vorrichtung mit einem hybriden Energieversorgungssystem, das ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem aufweist, wobei die elektrischen Ausgänge des Brennstoffzellensystems mit einer Seite eines Stromrichters verbunden sind, dessen andere Seite den Antriebsmotor speist, der von einer Motorsteuereinheit gesteuert wird, und wobei das dynamische Energiesystem eine Speicherbatterie aufweist, die mit einer Seite eines Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers verbunden ist, dessen andere Seite mit den elektrischen Ausgängen des Brennstoffzellensystems und der einen Seite des Stromrichters verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass Signale, die von einem Geber

für die Anforderung der Sollleistung des Antriebsmotors erzeugt werden, ein Signal, das von einem Betriebsartenwahlschalter mit mehreren wählbaren Einstellungen abgegeben wird, die jeweils unterschiedlichen Dynamik-Verhaltensweisen der Vorrichtung zugeordnet sind, Messwerte eines Stromsensors für den Ausgangsstrom und eines Spannungssensors für die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle und Messwerte eines Sensors für die Geschwindigkeit der Vorrichtung zur Bestimmung der vom Brennstoffzellensystem und vom dynamischen Energiesystem aufzubringenden Leistungsanteile an der angeforderten Sollleistung derart verarbeitet werden, dass bei einer Sollleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vorrichtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise und der unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Sollleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer sprungförmigen Zu- oder Abnahme der Sollleistung die für die Zu- oder Abnahme der zusätzlichen Leistung erforderliche Zu- oder Abnahme des aus oder in die Speicherbatterie über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler fließenden Stroms auf einen maximal vorgebbaren Lade- oder einen maximal vorgebbaren Entladestrom begrenzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass von einer Fahrzeugsteuereinheit der mobilen Vorrichtung Stromanforderungswerte für den Antriebsmotor Verbraucherstromwerten der weiteren Verbraucher in der Vorrichtung überlagert und mit einem von einem Batteriemanagementsystem bedarfsweise erzeugten Ladestromwert unter Begrenzung auf einen Brennstoffzellenmaximalstromwert einer Energiesteuereinheit zugeführt werden, der weiterhin Vorrichtungsgeschwindigkeitswerte, Drehmomentsollwerte von einem Sollwertgeber, Batterieladezustandswerte und Werte eines Betriebsartenwahlschalters für die Einstellung verschiedener Dynamik Verhaltensweisen der mobilen Vorrichtung zugeführt werden und die in Abhängigkeit von den zugeführten Werten die Werte des Gesamtstrombedarfs und des vom Brennstoffzellensystem unter Berücksichtigung dessen Trägheitsverhaltens und des ausgewählten Dynamik-Verhaltens beizutragenden Strombedarfs berechnet und entsprechende Sollwerte an die Stellglieder des Brennstoffzellensystems ausgibt, und daß jeweils die Werte des von der

Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms bestimmt, vom Wert des vom Antriebsmotor benötigten Stroms subtrahiert werden und unter Begrenzung auf einen maximal angebbaren Entlade- oder Ladestrom der Speicherbatterie als Stromsollwerte dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler zugeführt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe des jeweils vom Antriebsmotor über den Stromrichter bezogenen Werts des Stroms und der von den weiteren Verbrauchern der Vorrichtung bezogenen Werte der Ströme vom Wert des von der Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms subtrahiert wird und bei Erreichen eines maximal vorgebbaren Werts des Entladestroms der Speicherbatterie auf diesen Entladestrom begrenzt wird und dass das Ergebnis der Differenz der von den weiteren Verbrauchern bezogenen Ströme vom Wert des verfügbaren Brennstoffzellenstroms aufgeschaltet wird und der Steuereinheit der Vorrichtung als verfügbarer Wert des Stroms gemeldet wird.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem Speicherglied n-ter Ordnung die Übergangsfunktion des Brennstoffzellensystems als Regelstrecke nachgebildet wird, dass das Speicherglied und eine Steuereinheit für das dynamische Energiesystem mit den von der Fahrzeugsteuereinheit der mobilen Vorrichtung ausgegebenen Drehmomentsollwerten beaufschlagt werden, daß der Steuereinheit zusätzlich die gemäß der Übergangsfunktion der Regelstrecke erzeugten Werte zugeführt werden und daß durch die Steuereinheit der vom dynamischen Energiesystem aufzubringende Strom über ein Begrenzungsglied, das in Abhängigkeit von Steuersignalen aus der Vorrichtung auf wenigstens zwei Rampen mit unterschiedlicher Steigung einstellbar ist, als Stromsollwert dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler zuführbar ist.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während der Dauer eines Beschleunigungsvorgangs der Vorrichtung bei dem von der Fahrzeugsteuereinheit durch Vorsteuerung ein Solldrehmoment und aus einem Kennfeld mit dem Drehmoment als Funktion des maximalen Stroms und der Drehzahl ein Maximalstrom für die Erzeugung des Solldrehmoments bestimmt wird, die Differenz zwischen dem vom Brennstoffzellensystem während des Beschleunigungsvorgangs erzeugten Strom und dem für die Erzielung der hohen Beschleunigung gemäß dem Kennfeld benötigten Gesamtstrom durch das dynamische Energiesystem erzeugt wird.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer Verminderung des vom Antriebsmotor abzugebenden Solldrehmoments aus dem Kennfeld



der für das geringere Drehmoment erforderliche Strom bestimmt wird und daß an Hand des jeweiligen Belastungszustands des Brennstoffzellensystems bei der Vorgabe des Drehmomentsollwerts und der vorhandenen Speicherfähigkeit der Speicherbatterie diese nach Umkehr des Stromflusses im Stromrichter im Bremsbetrieb des Antriebsmotors mit dem maximal vorgebbaren Ladestrom über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler geladen und das Brennstoffzellensystem auf den für das geringere Solldrehmoment erforderlichen Strom eingestellt wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung der Brenngas- und Luftzufuhr zur Brennstoffzelle periodisch umgekehrt wird, und daß während der Umkehr der Gaszufuhr ein auf die momentane Stromausgabe des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiesystems unmittelbar vor der Umschaltung abgestimmter Stromimpuls vom dynamischen Energiesystem über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler in den Stromrichter eingespeist wird.

9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems auf Erreichen oder Unterschreiten eines für den einwandfreien Betrieb zulässigen Spannungsgrenzwerts überwacht wird und daß bei Erreichen oder Unterschreiten des Spannungsgrenzwerts die Spannung in dem am Ausgang der Brennstoffzelle angeschlossenen Netz durch Stromeinspeisung über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler auf wenigstens dem zulässigen Grenzwert geregelt wird.

10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Belastungssituation des Energieversorgungssystems beim Eingreifen der Regelung und die Häufigkeit des Eingreifens der Spannungsregelung während des Betriebs des Energieversorgungssystems registriert werden und daß nach Überschreiten einer vorgebbaren Anzahl von Eingriffen die Dynamik durch Reduzierung der Anstiegsgeschwindigkeit des Stroms des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiesystems und die Größe der abgegebenen Leistung reduziert werden.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsleistung des Brennstoffzellensystems bei ausreichender Speicherbatterieladung bei Erhöhung des Drehmomentsollwerts begrenzt wird und daß der für die Erzeugung des Drehmomentsollwerts notwendige Strom während des Anstiegs durch das dynamische Energiesystem erzeugt wird.

12. Verfahren nach zumindest einem der vorher-

gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des Betriebsartenwahlschalters wenigstens drei Betriebsarten für den Antriebsmotor einstellbar sind, von denen eine auf eine große Dynamik der Vorrichtung, eine zweite auf eine geringere Dynamik der Vorrichtung und eine vierte auf Stop- und Go-Betrieb gerichtet sind und daß im Stop- und Go-Betrieb bei Beschleunigungen Ströme vom dynamischen Energiesystem erzeugt und beim Abbremsen darin gespeichert werden.

13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der vom dynamischen Energiesystem aufzubringende Anteil des Stroms an dem für die Erzeugung einer angeforderten Antriebsleistung notwendigen Strom mit dem jeweils vorhanden Istwert des von der Vorrichtung verbrauchten Stroms und dem vom Brennstoffzellensystem verfügbaren Strom bestimmt wird.

14. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Notlauf des Energieversorgungssystems durch Spannungsregelung im Netz am Eingang des Stromrichters mittels des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers und Einspeisung des Stroms aus der Speicherbatterie gewährleistet wird.

15. Anordnung zur Steuerung der Energieversorgung einer wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor aufweisenden Vorrichtung mit einem hybriden Energieversorgungssystem, das ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem enthält, wobei die elektrischen Ausgänge des Brennstoffzellensystems mit einer Seite eines Stromrichters verbunden sind, dessen andere Seite den Antriebsmotor speist, der von einer Motorsteuereinheit gesteuert wird, und wobei das dynamische Energiesystem eine Speicherbatterie aufweist, die mit einer Seite eines Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers verbunden ist, dessen andere Seite mit den elektrischen Ausgängen des Brennstoffzellensystems und der einen Seite des Stromrichters verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass eine mit einem Geschwindigkeitssensor der mobilen Vorrichtung (1) und einem Geber (31) für ein vom Antriebsmotor zu erzeugendes Solldrehmoment verbundene Fahrzeugsteuereinheit (18) für die Einstellung des Solldrehmoments einer Motorsteuereinheit (4) und für die Bestimmung der in einem Kennfeld zu Drehmomentsollwerten und Drehzahlwerten gespeicherten Stromsollwerte für die mobile Vorrichtung (1) vorgesehen ist, daß die Fahrzeugsteuereinheit (18) mit einer Energiesteuereinheit (19) verbunden ist, die mit dem Brennstoffzellensystem (7), einem Batteriemanagementsystem (12) für die Speicherbatterie (10) und mit dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler (9) verbunden ist, daß der von der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems (7) abgegebene Strom gemessen und als

Brennstoffzellenstromwert der Energiesteuereinheit (19) zugeführt wird, daß der Strom des Antriebsmotors vor dem Stromrichter (3) gemessen und als Fahrstromwert der Energiesteuereinheit (19) zugeführt wird, daß die Ströme der weiteren Verbraucher gemessen oder berechnet und der Energiesteuereinheit (19) als Summenstromwert zugeführt werden, daß ein Betriebsartenwahlschalter (50, 51, 52) für die Einstellung verschiedener Betriebsarten des Energieversorgungssystems mit der Energiesteuereinheit (19) verbunden ist, daß vom Batteriemanagementsystem (12) Werte über den Ladezustand der Speicherbatterie (10) und Werte über den maximal vorgebbaren Lade- und Entladestrom einer Energieflußsteuerung (38) zugeführt werden, und daß der Stromsollwert, der Brennstoffzellenstromwert, der Fahrstromwert, der Summenstromwert, die eingestellte Betriebsart, der Ladezustandswert und die maximal vorgegebenen Werte des Lade- und Entladestroms in der Energiesteuereinheit (19) und in der dazugehörigen Energieflußsteuerung (38) mit einem oder mehreren Programmen derart verarbeitet werden, dass bei einer Sollleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vorrichtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise und der unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Sollleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird.

16. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die mobile Vorrichtung ein Kraftfahrzeug zum Personen- und/oder Gütertransport ist.

17. Anordnung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung (1) ein Gabelstapler ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen



## Anhängende Zeichnungen

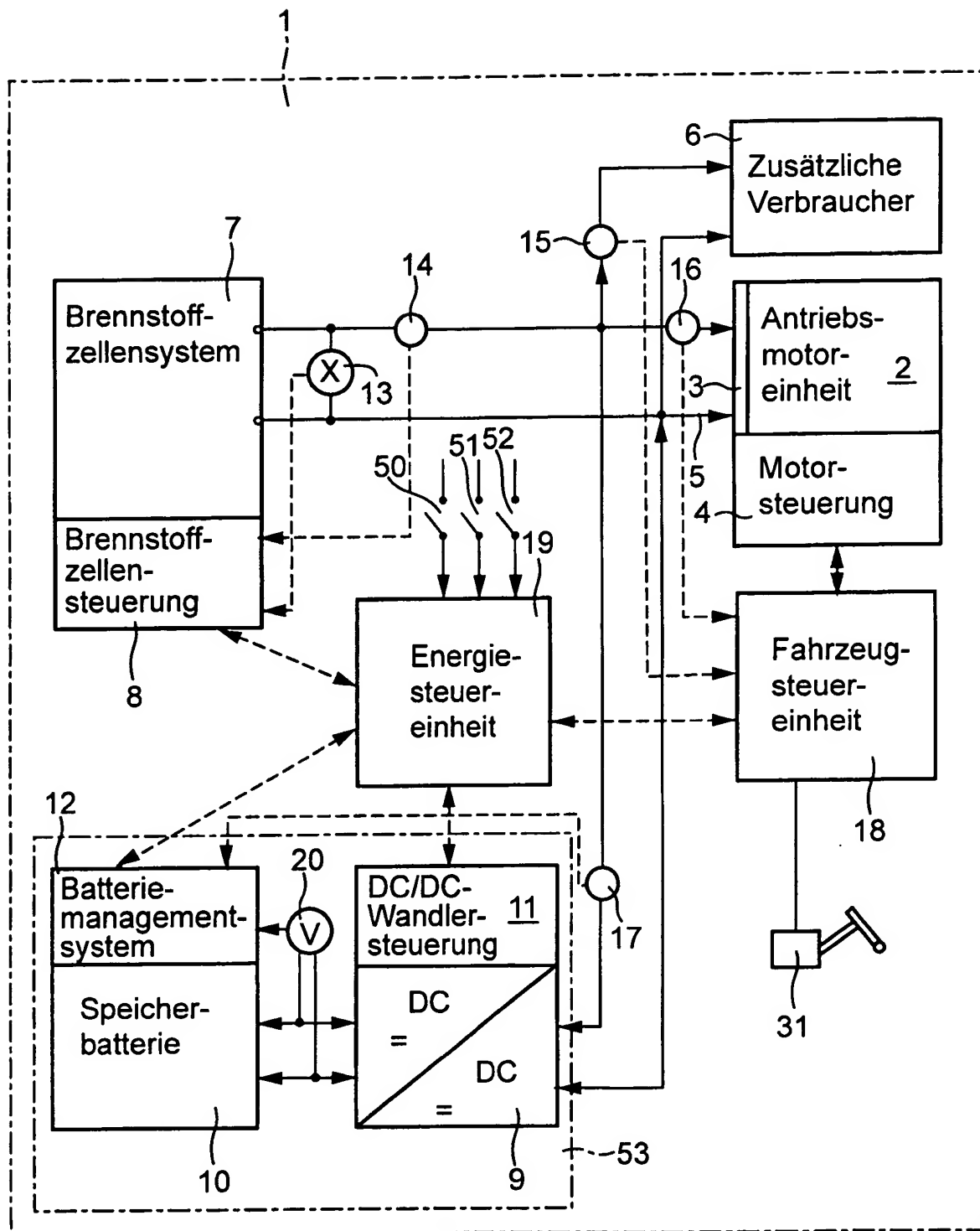


Fig. 1

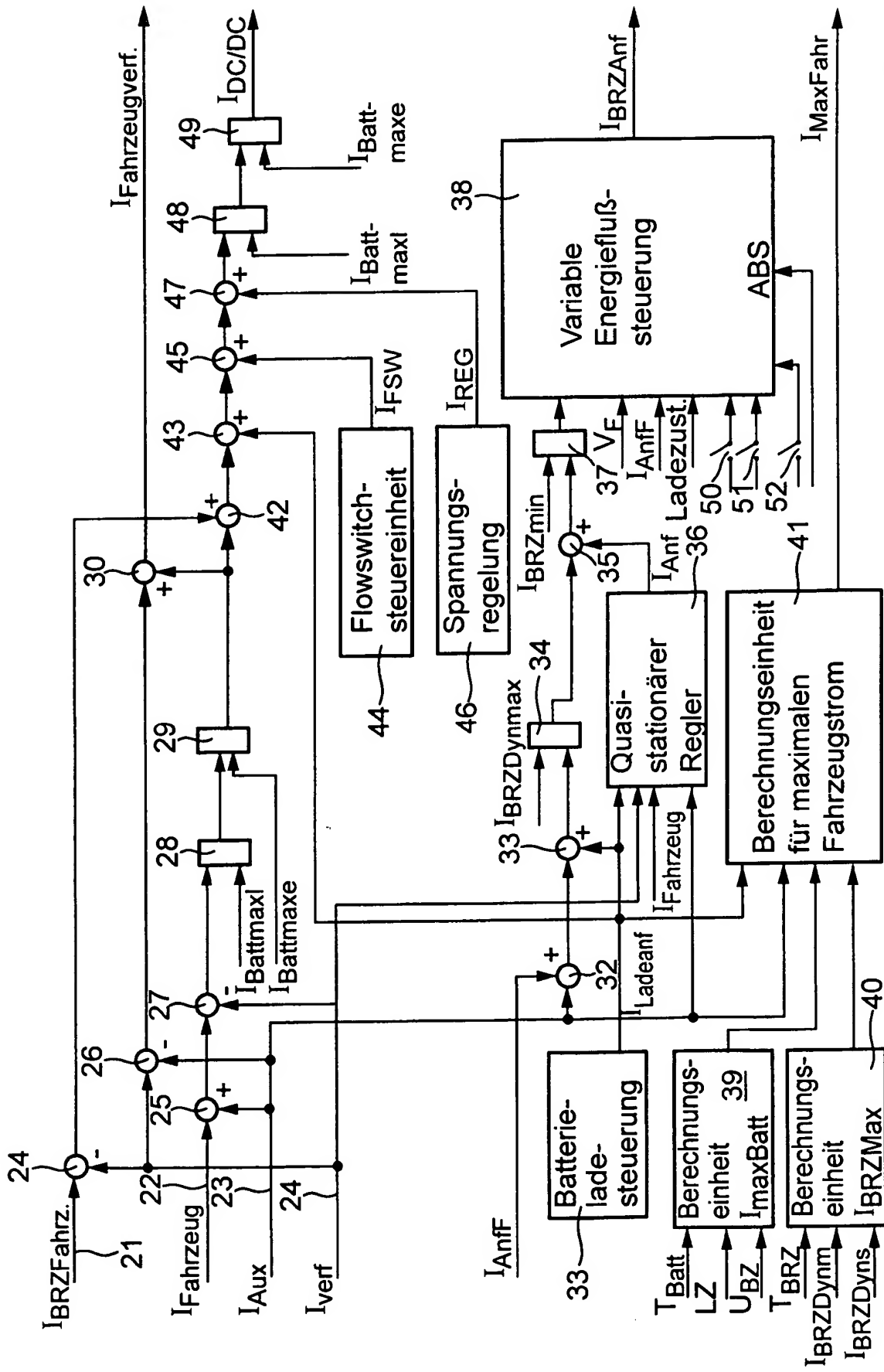


Fig. 2

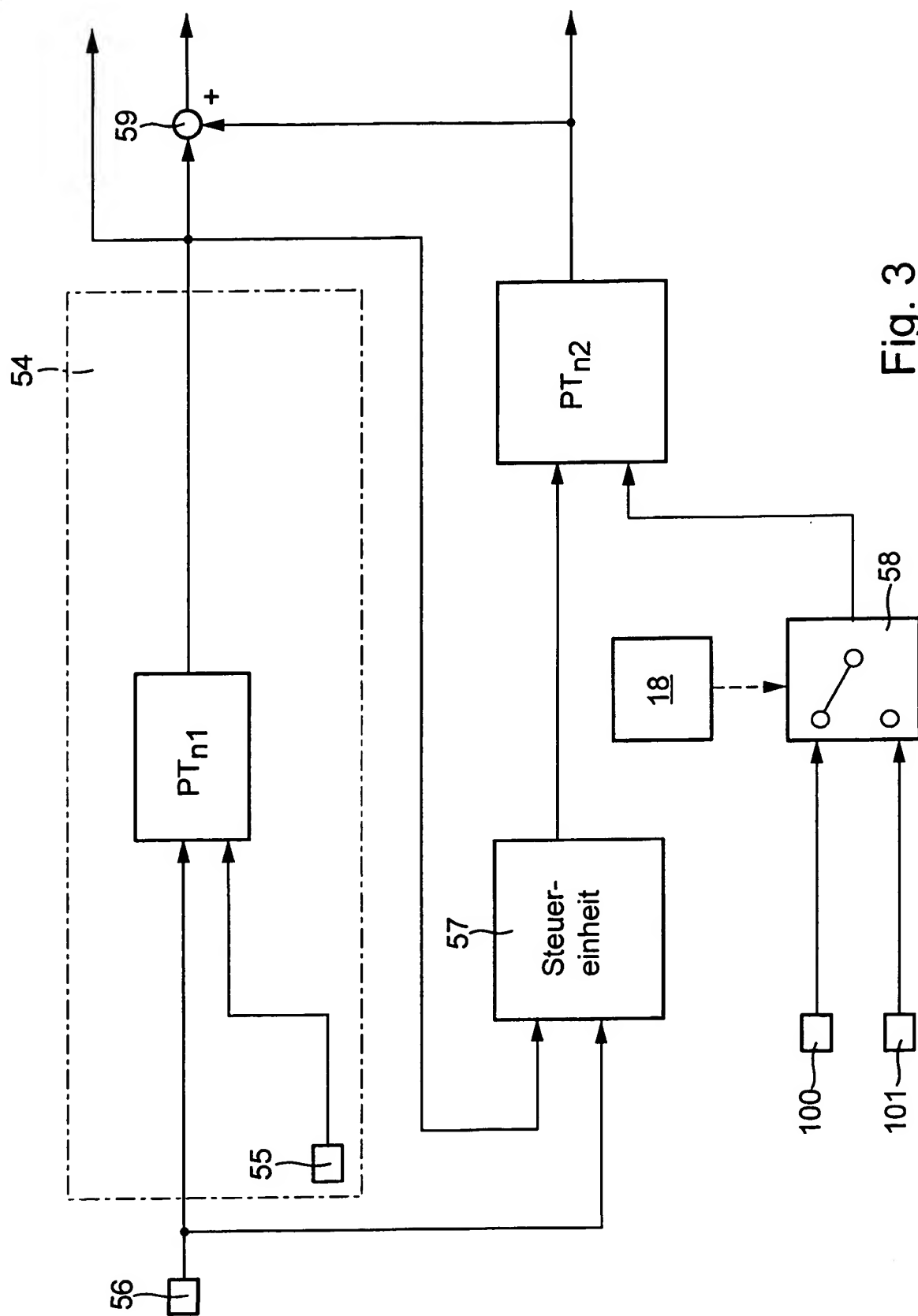


Fig. 3

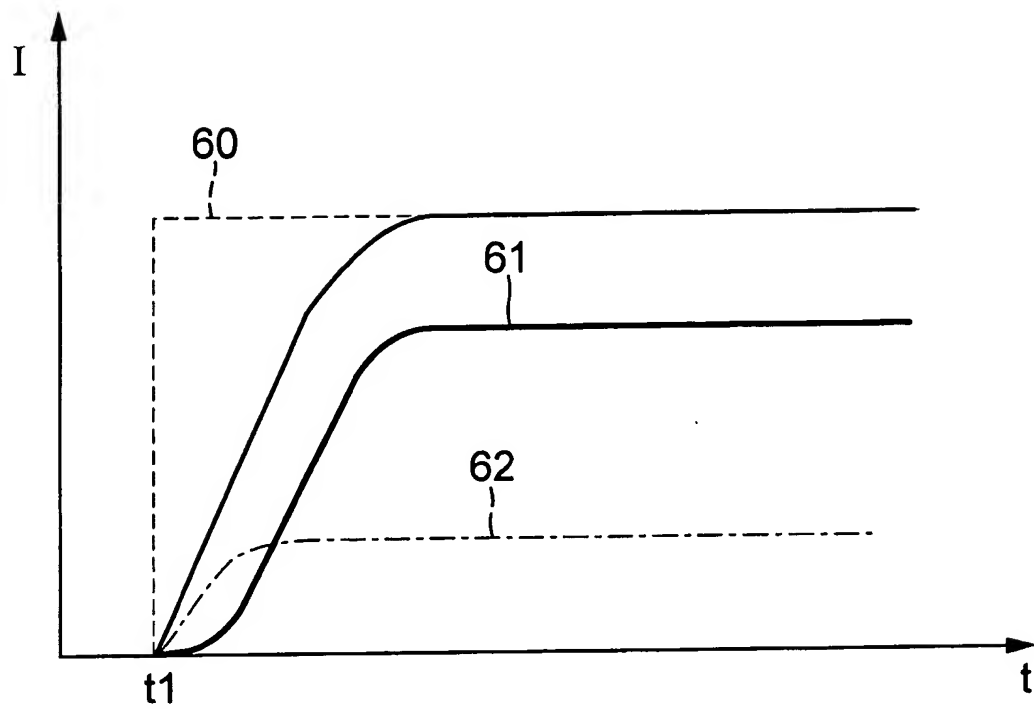


Fig. 4

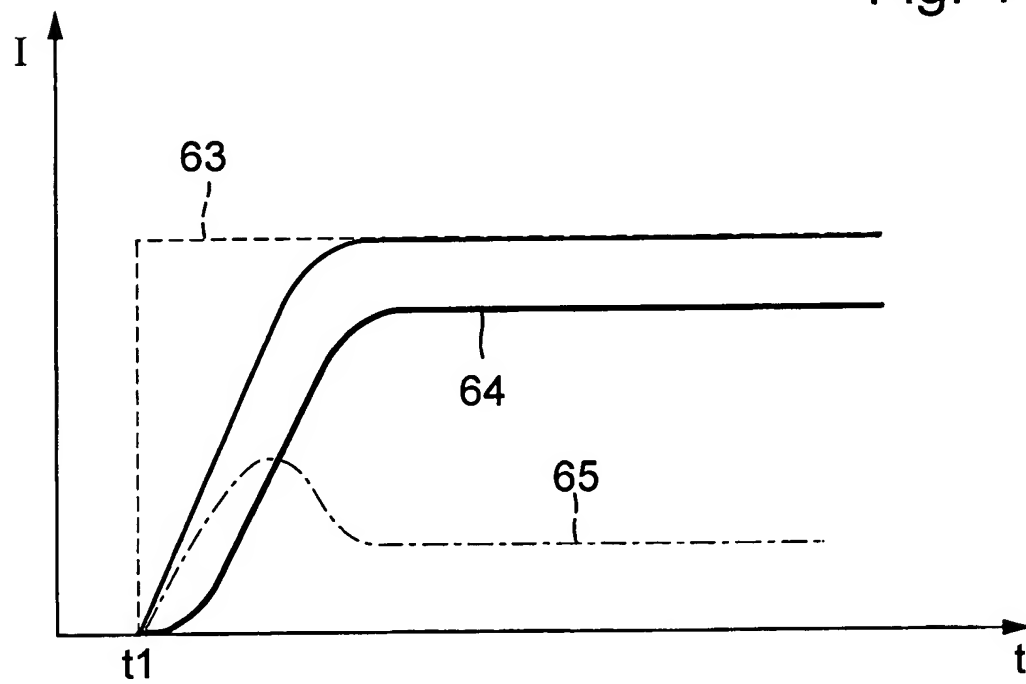


Fig. 5

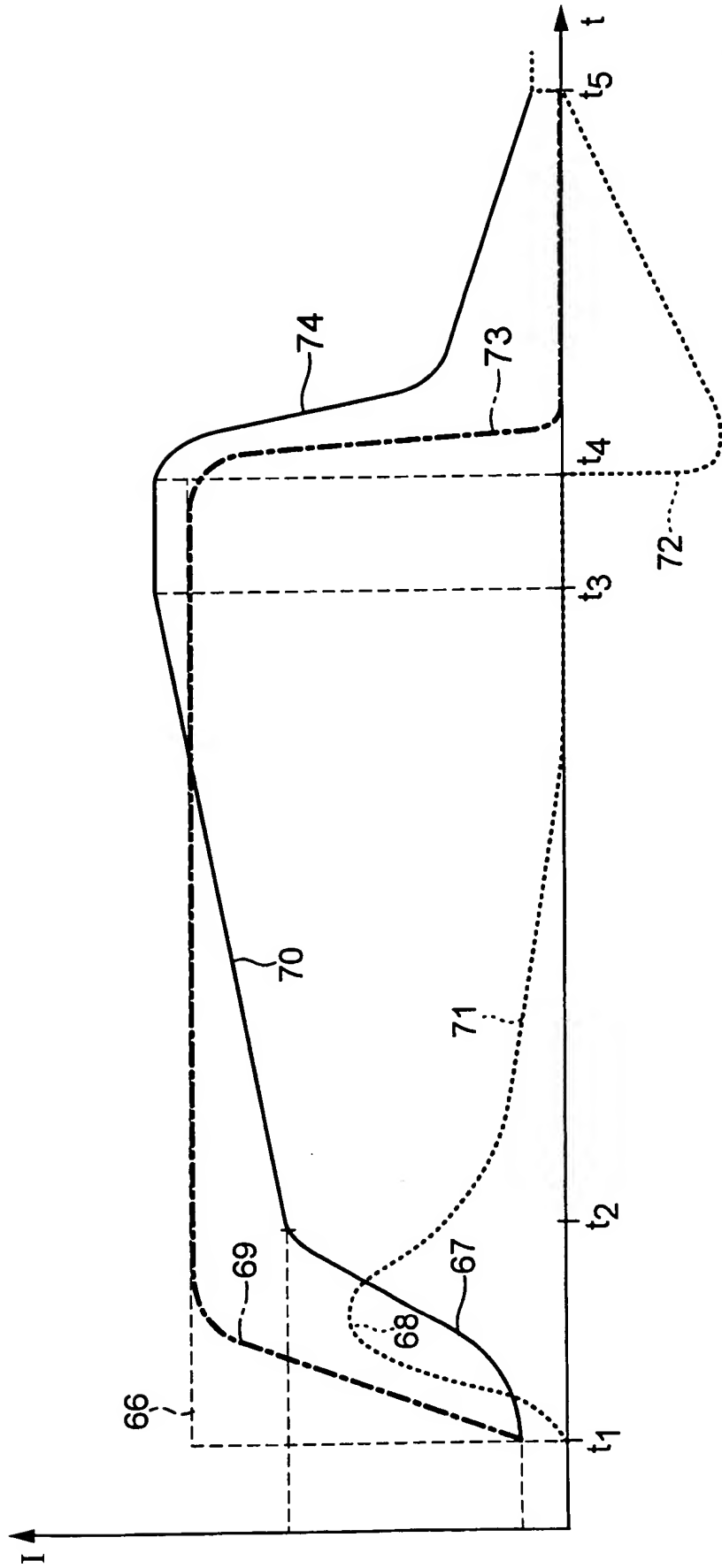


Fig. 6